

# Nukleáris energiatermelés

# Nukleáris balesetek

- IAEA (International Atomic Energy Agency) =NAÜ (nemzetközi Atomenergia Ügynökség)
- Nemzetközi nukleáris esemény skála, 1990



# Nemzetközi nukleáris esemény skála

- 1. szint: rendellenesség

Működési, emberi hibák, nem megfelelő eljárások alkalmazása, nem jelent veszélyt a biztonságos működés szempontjából, sem a dolgozókra, sem a lakosságra.

- 2. szint: üzemzavar

A lakosság egy tagjának évi sugárterhelése meghaladja a 10 mSv-et

Egy dolgozó sugárterhelése meghaladja ez éves korlátot

A sugárdózis a munkahelyen 50 mSv/h fölé emelkedik

Berendezés nem tervezett jelentős szennyeződése

A biztonsági előírások jelentős sérülése, amelynek azonban nem volt számottevő következménye

Nagy aktivitású zárt sugárforrás, készülék szabálytalan kezelése, szállítása

Nagy aktivitású zárt sugárforrás nem megfelelő csomagolása

# Nemzetközi nukleáris esemény skála

- 3. szint: Súlyos üzemzavar

A dolgozók sugárterhelése több. Mint 10-szerese az éves korlátnak

A sugárzás nem halálos determinisztikus hatása (pl. égés)

1 Sv/h értéket meghaladó dózis a munkaterületen

Nem tervezett súlyos szennyezés

Jelentős lakossági hatás

Nukleáris létesítmény baleset-közeli állapotba kerül

Nagy aktivitású zárt forrás eltűnése

Nagy aktivitású zárt sugárforrás szállítása olyan helyre, ahol annak biztonságos kezelésére nincs lehetőség

# Nemzetközi nukleáris esemény skála

- 4. szint: Létesítményen belüli hatású baleset  
Kis mennyiségű radioaktív anyag kikerülése a környezetbe, de ennek valószínűleg nincs távolabbi hatása

Legalább egy személy halála sugárzás miatt

A fűtőanyag legalább 0.1%-ának olvadása vagy sérülése

Egy esemény során jelentős mennyiségű radioaktív anyaggal történik probléma, amelynek jelentős társadalmi hatása lehet

# Nemzetközi nukleáris esemény skála

- 5. szint: külső kockázattal járó baleset

Radioaktív anyag korlátozott kibocsátása,  
amely valószínűleg több intézkedést követel

Több haláleset a sugárzás miatt

A fűtőanyag súlyos sérülése

Egy esemény során jelentős mennyiségű  
radioaktív anyaggal szabadulhat ki, amelynek  
nagy valószínűséggel jelentős társadalmi  
hatása lehet , balesetet, vagy tüzet okozhat.

# Nemzetközi nukleáris esemény skála

- 6. szint: Súlyos baleset

Jelentős mennyiségű radioaktív anyag korlátozott kibocsátása, amely több intézkedést követel

- 7. szint: Nagyon súlyos baleset

A nukleáris létesítményben levő radioaktív anyag nagyobb része kiszabadul, melynek széleskörű környezeti és egészségügyi hatása van

# Nukleáris balesetek

- 1957, Windscale (Nagy-Britannia): plutónium-tenyésztő reaktorban kigyulladt a grafit. Ennek eredményeképpen néhány természetes uránnal töltött üzemanyag rúd megolvadt és radioaktív izotópok ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , nemesgázok) kerültek a környezetbe ( $4 \cdot 10^{16}$  Bq). Kb. 700 km<sup>2</sup> szennyeződött. Humán hatást nem észleltek. Az átlagos effektív dózis az erőmű területén 0.8 Sv volt.

5. szint



# Nukleáris balesetek

- 1979, Three Mile Island (USA, Pennsylvania):  
Több műszaki és emberi hiba együttes fennállása miatt a reaktor szabályozatlanná vált, az aktív zóna megolvadt.  $^{131}\text{I}$  és radioaktív nemes gázok kerültek a környezetbe ( $10^{15}$  Bq). A szennyezett hűtőközeg a Susquehanna folyóba ömlött. Humán hatást nem észleltek. A dózisbecslések azt mutatták, hogy 20 év alatt 2 millió ember esetén egy újabb rákos megbetegedés valószínűsíthető (a szokásos . 350 000-hez képest).

5. szint

# Nukleáris balesetek

- 1986, Csernobil (Szovjetúnió): teszt: milyen sokáig forognak a turbinák teljes elektromos energia-vesztés esetén? Az automata biztonsági berendezések nem engedték a kísérletet, ezért az operátorok kikapcsolták azokat. Egy hirtelen energianövekmény felforralta hűtővizet. A gőz kevesebb neutronot abszorbeált, ezért megnőtt a neutronfluxus – tovább nőtt a teljesítmény. Az operátorok ekkor már megpróbálták leállítani a reaktort, de a szabályozó rudak túl magasan voltak a reaktor leállításához. A bórkarbid szabályozó rudak vége grafitból készült, először ez került a hűtővízbe, moderátorként viselkedve tovább növelve a teljesítményt, a reaktor kritikussá vált. A felforrósodott fűtőelemek a hűtővízzel érintkezve eltöredtek, a hirtelen fejlődő gőz megnövelte a nyomást, ami robbanást okozott, a hasadási termékek az atmoszférába jutottak. Néhány másodperc múlva a grafit moderátor, a cirkónium burkolatok és a vízgőz reakciójából hidrogén fejlődött, ami felrobbant ; meggyulladt a grafit. Mivel a reaktor felülmoderált volt, ez növelte a láncreakció sebességét.

# Nukleáris balesetek

- 1986, Csernobil (Szovjetúnió): a fűtőanyag kb. 5 %-a került az atmoszférába – hasadási termékek (pl.  $^{131}\text{I}$  és egyéb jódiotópok,  $^{134}\text{Cs}$  és  $^{137}\text{Cs}$ , Sr izotópok, nemesgázok, stb.), urán, transzuránok -  $2 \cdot 10^{18}$  Bq.

Jelentős része aeroszol, ill. gáz formájában, amelyek több ezer kilométerre eljutottak előbb észak-nyugati, majd déli irányba.

Átlagos effektív dózis az erőmű területén 6-16 Sv, Csernobil városban 0.2-1 Sv, Kijevben 0.08 Sv.

7. szint

# Nukleáris balesetek

- 2011, Fukusima (Japán): A világtörténelem 4. legerősebb földrengése, majd az ezt követő szökőár. A reaktor teljes áramellátása megszűnt. A biztonsági berendezések rendben leállították a reaktort, azonban a hasadványok hőtermelése miatt túlmelegedés következett be. A fűtőanyag kb. 75 %-a megolvadt. A hűtést tengervízzel próbálták biztosítani, ami hidrogénrobbanásokat okozott. Kibocsátás I-131 és Cs-137-mérések alapján a csernobilinek kb. 15 %-a.  
4., 5., majd 7. szint

# Az atomerőművek fejlesztési trendjei

- I. generációs erőművek: 1950-60-as évek, ma már nagy részüket leszerelték
- II. generációs atomerőművek: az I. generáció továbbfejlesztve biztonsági, gazdaságossági és üzemeltetési szempontok alapján.
  - Nyomottvizes reaktorok (PWR) kb. 65 %-a a teljes kapacitásnak – legbiztonságosabb. Primer kör teljesen szeparált, valamennyi szennyezett alkatrész egy ún. konténmentben található, amely nyomásálló, hermetikusan zárt épület.

# Az atomerőművek fejlesztési trendjei

- III. generációs atomerőművek: a II. generációs erőművek továbbfejlesztése. Még viszonylag kevés van (Japán), de sok épül, ill. tervezik.
  - Típusstervek alapján épülnek, így az építési idő viszonylag rövid, a működési idejük hosszabb
  - Szerkezetük egyszerűbb, de masszívabb
  - Biztonságosabb – passzív védelmek
  - Környezet terhelése kicsi
  - A fűtőanyag kiégése nagyobb-gazdaságosabb, kevesebb a hulladék

# Az atomerőművek fejlesztési trendjei

- IV. generációs atomerőművek: új technikai megoldások és biztonsági követelmények
    - Az  $^{235}\text{U}$  mellett az  $^{238}\text{U}$ -t és a  $^{232}\text{Th}$ -t is hasznosítanák energiatermelésre
    - Az elektromos energiatermelés mellett hidrogént is állítanának elő vízbontással (ma a hidrogént földgázból nyerik)
    - A nukleáris hulladék csökkentésére transzmutációs berendezést is beépítenének
    - Csökkenne a nukleáris fegyverek előállításának lehetősége
- Típusok: termikus reaktor kombinációja nagyon nagy hőmérsékletű reaktorról; szuperkritikus víz hűtésű vagy sóoldadék hűtésű reaktor, gyorsreaktor, gázhűtésű gyorsreaktor, folyékony fémmel (Na, Pb, Pb-Bi) hűtött reaktor

# Fúziós reaktorok - kísérletek

- Szabályozott termonukleáris reakció
- Követelmények
  - $T > 10^8$  K, ez a  ${}^2\text{H}-{}^2\text{H}$ -és a  ${}^2\text{H}-{}^3\text{H}$ : reakció begyújtási hőmérséklete  $3 \cdot 10^8$  K ill.  $3 \cdot 10^7$  K
  - A Lawson-határnak,  $n\tau$ , legalább  $10^{21}$  részecske s/m<sup>3</sup>-nek kell lenni a  ${}^2\text{H}-{}^2\text{H}$ -reakcióra és  $10^{20}$  részecske s/m<sup>3</sup> –nek a  ${}^2\text{H}-{}^3\text{H}$ -reakcióra, ahol  $n$  a sűrűség,  $\tau$  az energiaösszetartási idő.
- Két közelítés:
  - Mágneses plazmaösszetartás : forró ( $> 10^8$  K) plazma a hidrogén izotópjaiból (deutérium és trícium). Tokamak, Moszkva toroid alakú plazma
  - inerciális fúzió: impulzus üzemmód ú, nagy sűrűségű szilárd deutérium és/vagy trícium szemcséket injektálnak nagy intenzitású lézer fotonnyalábba



# Fúziós reaktorok - kísérletek

- Kísérleti reaktorok
- ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), Franciaország: 2018-ra készül el. Cél: legalább 8 percig önfenntartó plazmát létrehozni, ami több energiát termel, mint amennyit befektettek.
- Megoldatlan problémák:
  - A megfelelő hőmérséklet elérése
  - A fűtőanyagnak az edény falától való elkülönítése
  - A fűtőanyag injektálása
  - A termék (hélium) elvezetése
  - A reakció szabályozása

# Nukleáris fegyverek

- Hasadás, hasadás és fúzió kombinációja
- Atombomba:  $^{235}\text{U}$  vagy más mag (pl. Pu). Hasadóanyag darabjainak tömege  $<$  kritikus tömeg; kémiai bombával egyesítik – láncreakció
- Hiroshima, 1945. augusztus 6.: Little Boy,  $^{235}\text{U}$
- Nagaszaki, 1945. augusztus 9.: Fat Man, plutónium
- Hidrogénbomba (1952): hasadás és fúzió. Egy atombomba robbanása hozza létre a hidrogénizotópok fúziójához szükséges magas hőmérsékletet.  
Fűtőanyag: trícium, deutérium vagy lítium-deuterid.  
Legalacsonyabb a  $^2\text{H}$ - $^3\text{H}$ - reakció gyújtási hőmérséklete, a trícium azonban drága ,  $t_{1/2}=12.4$  év.  
Ezért használnak lítium-deuteridet; a T a Li (n, $\alpha$ )-reakciójában keletkezik.

# Nukleáris fegyverek

- Sós bomba: külső köpenyben olyan fém (pl. Co vagy Au), amely a neutronokkal reagálva nagy mennyiségű radioaktív izotópot termel – piszkos bomba
- Neutronbomba: a hasadóanyag kritikus tömege kicsi (pl. kalifornium), tehát kevés a termelődő hasadvány. Ennek robbanása indítja el a fúziós reakciót. A bombát kevés neutront abszorbeáló köpeny veszi körül, a kilépő neutronok nagy pusztítást okoznak. Csak néhány kilogramm!!!